

Evaluación de la fecha de madurez de la semilla de tres especies autóctonas para cubierta vegetal en olivar en Andalucía.

José Alfonso Gómez^{1*}, María Auxiliadora Soriano²

¹ Instituto de Agricultura Sostenible CSIC, Alameda del Obispo, s/n. Córdoba.
joseagomez@ias.csic.es

² Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, C4.
 Córdoba. ag1sojim@uco.es

* Autor correspondiente.

RESUMEN

Este estudio presenta el análisis de la idoneidad de tres especies autóctonas de plantas anuales, *Bromus rubens*, *Anthemis arvensis* y *Medicago truncatula*, como cubierta vegetal en olivar para las condiciones de Andalucía, utilizando los datos experimentales de dos años agrícolas para calibrar y validar modelos fenológicos basados en tiempo térmico. A partir de estos modelos, se determinó la fecha de madurez de la semilla de las tres especies para siete localidades en Andalucía y para dos supuestos de fecha de condiciones de germinación: fijada el 20 de octubre o con la primera precipitación significativa (25 mm en dos días) a final del verano-principios del otoño. Estos resultados permitieron calcular la distribución de probabilidad de la fecha de madurez de la semilla y calibrar un modelo empírico para determinar la fecha de madurez promedio para cada especie en la región, a partir de la temperatura media anual en cada localización. Se generaron mapas regionales de fecha media de madurez de la semilla para las tres especies. A partir de estos se discuten varios aspectos, entre ellos: en qué zonas de la región las tres especies pueden producir semillas viables a principios de abril, y las zonas en las que el manejo debe adaptarse a una madurez más tardía para combinar la producción de semillas para auto-siembra con minimizar la competencia con el olivo por el agua del suelo.

II. FORO DEL OLIVAR Y MEDIO AMBIENTE.

Palabras clave: autosiembra, modelo fenológico, grados-día, servicios ecosistémicos, condiciones edafo-climáticas.

1. INTRODUCCIÓN

Las cubiertas vegetales son una de las herramientas más importantes de la agricultura de conservación en cultivos leñosos, como por ejemplo el olivar. Blanco-Canqui et al. (2015) discuten en detalle los efectos de las cubiertas vegetales sobre la provisión de servicios ecosistémicos en la agricultura, señalando varias ideas clave. Una es que la provisión de servicios ecosistémicos por las cubiertas debe alcanzar un equilibrio entre aquellos servicios que requieren una alta producción de biomasa (por ejemplo, un aumento del carbono orgánico del suelo) con la producción agrícola. Una segunda idea clave es que este equilibrio es mucho más difícil de lograr en regiones donde existe una limitación en la disponibilidad de agua para el cultivo.

Los cultivos leñosos, entre ellos el olivar, son uno de los sistemas agrícolas que se citan con frecuencia como afectados gravemente por la erosión hídrica en la Europa mediterránea, y el uso de cubiertas vegetales suele mencionarse como una técnica necesaria para reducir la erosión a niveles tolerables (e.g., Gómez et al., 2014a, 2017). Sin embargo, a pesar de al menos 50 años de investigación sobre el uso de cubiertas vegetales en olivar en España (e.g., Ruiz de Castroviejo, 1969), no se ha logrado aún su implementación generalizada y efectiva. En España se utiliza algún tipo de cubierta vegetal en aproximadamente 1,2 Mha, lo que representa aproximadamente el 23,7% del área total de cultivos leñosos. El porcentaje de olivares que utiliza algún tipo de cubierta vegetal es de aproximadamente el 40% de la superficie total, siendo más del 98% cubierta vegetal espontánea (MAPAMA, 2017). Uno de los principales obstáculos para su implementación es la necesidad de utilizar especies de plantas adaptadas a las condiciones climáticas, que permitan cubrir el suelo durante la temporada de lluvias (desde el otoño hasta mitad de la primavera) y puedan completar su ciclo para resistir el corte mecánico o siega química a finales de invierno o principios de primavera. De esta manera, el riesgo de que la cubierta vegetal compita por el agua con el cultivo se minimiza, mientras que permite su auto-siembra el siguiente otoño. Gómez et al. (2014b) en un estudio en diferentes áreas de Andalucía sugieren que usando una fecha de siega de la cubierta del 1 de abril, los olivares con esta cubierta temporal pueden manejarse sin reducir la transpiración de los olivos en comparación con el manejo de suelo desnudo. Una fecha posterior de siega, incluso de un período relativamente corto de 7 días, incurrirá en un mayor riesgo de disminución de la cosecha del olivar.

En comparación con otros cultivos como por ejemplo el viñedo, la mayoría de los estudios sobre cubiertas vegetales en olivar tratan sobre cubiertas mono-específicas, principalmente gramíneas (Alcántara et al., 2017), aunque empiezan a aparecer trabajos en los que se evalúan cubiertas con mezclas y especies autóctonas. Entre estos últimos trabajos destacan los de leguminosas de siembra anual en Portugal (Rodrigues et al., 2015) o el de una mezcla de 16 especies para promover la biodiversidad en Andalucía (Gómez et al., 2018a). Sin embargo, a partir de estos estudios es difícil estimar el desarrollo fenológico de las especies de cobertura fuera de las condiciones locales en las que se han evaluado. Esto podría ser un limitante crítico para determinar, en otras regiones o zonas, una fecha de siega para las cubiertas vegetales en olivar, que combinen el control de la competencia por el agua del suelo con la autosiembra de la cubierta en años sucesivos. La necesidad de la autosiembra de las cubiertas vegetales en olivar no debe ser subestimada por varias razones. Una es la necesidad de sustituir el manejo de suelo desnudo por uno con cubierta que no reduzca los márgenes de beneficio, en muchos casos reducidos (Rodríguez-Entrena et al., 2014). También, porque la siembra a principios del otoño crea condiciones de suelo desnudo que podrían resultar en grandes pérdidas de suelo por erosión si se producen lluvias intensas tras la siembra (Gómez et al., 2018a).

De la revisión de la literatura se desprende que sigue siendo necesaria la identificación de nuevas especies vegetales mejor adaptadas para su uso como cultivos de cobertura para olivar y que estos estudios pueden tener un mayor impacto en el sector si proporcionan una evaluación de su desarrollo fenológico más allá de las condiciones locales en las que han sido evaluadas. Este estudio presenta una evaluación de tres especies anuales autóctonas, *Bromus rubens* (una gramínea), *Medicago truncatula* (una leguminosa) y *Anthemis arvensis* (una compuesta) con los objetivos:

- a) Desarrollar modelos fenológicos basados en la temperatura que puedan ayudar a comprender el comportamiento y manejo de estas tres especies en olivares de toda Andalucía y, eventualmente, en regiones similares del Mediterráneo; y
- b) Utilizar los modelos fenológicos desarrollados para interpretar el potencial y las limitaciones de estas tres especies para su uso como cubierta vegetal en olivar en Andalucía.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En dos localidades con diferente régimen de temperatura (T), Córdoba (más cálida, con temperatura promedio anual de 17,8 °C) y Villaharta (con temperatura media anual más baja, de 15,6 °C), se realizó un experimento controlado durante los años agrícolas 2016-2017 y 2017-2018. En cada localización y año, se sembraron a principios del otoño las tres especies autóctonas anuales, *Bromus rubens* (gramínea), *Medicago truncatula* (leguminosa) y *Anthemis arvensis* (compuesta), en macetas (de 15 l de volumen) con cuatro repeticiones (cuatro macetas) por especie. Estas especies se seleccionaron entre varias alternativas de plantas autóctonas debido a su idoneidad como cubierta herbácea para las condiciones climáticas mediterráneas (particularmente por su precocidad en la emergencia, la altura relativamente baja de la planta y su ciclo relativamente corto), como se caracterizó en estudios previos (Soriano et al., 2016).

La siembra de las tres especies se realizó el 13 de octubre (en 2016 y 2017) y las macetas se regaron regularmente, para evitar el estrés hídrico de las plantas, de acuerdo con la distribución de la lluvia durante los dos ciclos de crecimiento. En cada localización, la temperatura del aire se midió automáticamente a 1,5 m de altura desde la superficie del suelo, a intervalos de 30 minutos, utilizando un sensor de temperatura del aire ECT (Decagon®) con protector de radiación. La evolución de la fenología de las tres especies se caracterizó regularmente durante los dos años de crecimiento, según la escala BBCH (Hess et al., 1997; Meier, 2001). Un modelo fenológico basado en grados-día acumulados (GDD), Ec. 1, fue desarrollado para cada especie, usando la ecuación de Richard, Ec. 2 (Birch, 1999)

$$GDD = \sum_{day=1}^{day=n} \max(0, T_{med\,dia} - T_{base}) \quad (1)$$

donde T_{med} es la temperatura media diaria y T_{base} es la temperatura basal.

$$PC = K (1 + e^{(d - a - b \cdot GDD)})^{-\frac{1}{b}} \quad (2)$$

donde PC es el código numérico BBCH (de 0 a 99) correspondiente a los estados fenológicos de las plantas, y K , a , b y d son los parámetros de la ecuación de Richard ajustada a los datos experimentales.

Los parámetros del modelo se calibraron utilizando los datos experimentales del año agrícola 2016-2017, minimizando el error cuadrático medio (RMSE) entre los días pronosticados y observados desde la siembra para cada una de los estados fenológicos registrados. Esta calibración se realizó utilizando la función "Solver" de Excel®. Los modelos desarrollados se validaron utilizando los datos experimentales del año agrícola 2017-2018. Se determinó la T_{base} de cada especie calculando el GDD, para los estados fenológicos registrados de las tres especies, para un intervalo de valores de T_{base} (de 0 a 8 °C). De estos valores, se eligió la T_{base} que proporcionó el mejor ajuste de cada modelo fenológico, en términos de un mayor coeficiente de correlación y una pendiente más cercana a la línea 1:1 de ajuste perfecto. La bondad predictiva de los modelos, para los análisis de calibración y validación, se evaluó a través de la raíz del error cuadrático medio (RMSE) entre los valores predichos y observados (estado fenológico o días para alcanzar un determinado estado fenológico) y la eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE, Nash y Sutcliffe, 1970).

Los modelos calibrados y validados se utilizaron para simular el desarrollo fenológico de las tres especies de cubierta para un período de 18 años agrícolas (2000/01-2017/18) en siete lugares de cultivo del olivar con clima contrastado en Andalucía: Baena, Belmez, Córdoba, Jerez del Marquesado, Loja, Sanlúcar la Mayor y Úbeda, (Tabla 1). A partir de estas simulaciones, se analizó la variabilidad en la fecha de madurez de las semillas en las distintas ubicaciones bajo dos escenarios: a) asumiendo una fecha fija de condiciones de germinación del 20 de octubre, y b) dependiente de una cantidad mínima de lluvia para las condiciones de germinación (25 mm en 2 días). A partir de estos resultados, se calculó la correlación entre el

día promedio de madurez de la semilla para cada una de las tres especies y la temperatura promedio anual a largo plazo en los siete lugares. Utilizando estos modelos de regresión y el mapa de la temperatura media anual para Andalucía para 1971-2000 (REDIAM, 2018), se calculó un mapa de fechas promedio de madurez de la semilla de cada especie para Andalucía.

Tabla 1: Promedio anual de T y precipitación para las localizaciones utilizadas en el estudio (promedio de 18 años; 2000/01-2017/18), todos los datos se tomaron de IFAPA (2018).

Localidad	T (°C)	Lluvia (mm)
Baena	16,8	497
Belmez	15,8	534
Córdoba	17,8	525
Jerez del Marquesado	12,6	384
Loja	16,1	501
Sanlúcar la Mayor	17,7	496
Úbeda	15,1	443

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 resume los valores de los parámetros ajustados para los tres modelos fenológicos desarrollados, que mostraron una buena correlación general de los valores predichos con los datos experimentales (r^2 de 0,92 a 0,97, $P < 0,001$; pendiente de la regresión de 0,97 a 1,02). Estos modelos presentaron una precisión relativamente alta al predecir los días desde germinación para un estado fenológico dado. Como se muestra en la Tabla 3, los modelos fueron robustos, con una capacidad predictiva relativamente alta, una NSE cercana a 1, lo que indica un ajuste perfecto, y un limitado RMSE, generalmente alrededor de 1-2 días.

Tabla 2. Valores de los parámetros ajustados de la ecuación de Richard correspondientes a los modelos fenológicos desarrollados.

Parámetro	<i>Bromus rubens</i>	<i>Anthemis arvensis</i>	<i>Medicago truncatula</i>
T_{base} (°C)	0,0	0,0	0,0
K	99	99	99
a	0,0022	0,0096	0,0019
b	2,0451	0,1769	1,6477
d	7,6331	0,0000	5,4810

Tabla 3. Ajuste de las predicciones de los modelos de fenología. El primer valor corresponde al análisis de calibración (año 2016/17) y entre paréntesis al análisis de validación (año 2017/18). RMSE es el error cuadrático medio y NSE es la eficiencia de Nash Sutcliffe.

		<i>Bromus rubens</i>	<i>Anthemis arvensis</i>	<i>Medicago truncatula</i>
Estado fenológico vs.	r^2	0,97 (0,95)	0,91 (0,92)	0,87 (0,97)
GDD	RMSE promedio	1,26 (1,07)	1,41 (2,00)	0,98 (0,86)
Días desde germinación	r^2	0,73 (0,84)	0,87 (0,89)	0,97 (0,93)
para un estado	RMSE promedio	0,76 (0,79)	0,69 (0,84)	0,56 (0,63)
fenológico determinado	NSE	0,83 (0,76)	0,86 (0,72)	0,89 (0,86)

La Figura 1 resume las fechas promedio de madurez de las semillas predichas por los modelos fenológicos, para las tres especies evaluadas en las siete localizaciones utilizando los datos climáticos de 18 años agrícolas. En la Figura 1 se pueden apreciar algunas cuestiones relevantes. Primero, se observa claramente como las diferentes especies presentan diferencias en la duración de su ciclo, con *B. rubens* que requiere el período más largo hasta la madurez de la semilla y *A. arvensis* el más corto, y con *M. truncatula* que presenta una duración intermedia entre ambas. Una segunda característica interesante es que la fecha promedio de maduración de la semilla muestra una gran variabilidad para cada especie dependiendo de la localización, obviamente debido a la diferencia de temperatura entre las distintas localizaciones, con una diferencia máxima de alrededor de 50 días para las simulaciones

asumiendo una fecha de germinación fija (20 de octubre) y de aproximadamente 60 días para las simulaciones que suponen una fecha de germinación basada en la primera precipitación significativa del año agrícola. Un tercer aspecto interesante es que la fecha de maduración promedio para cada ubicación varió según el supuesto de las condiciones para germinación, tendiendo a ser un poco más temprana (aproximadamente 4-5 días) para el supuesto basado en la primera precipitación relevante del año agrícola en comparación con la fecha fija de 20 de octubre. El primer escenario podría imitar una situación de auto-siembra, en la cual la semilla producida el año anterior por la cubierta germinará y emergerá con la primera precipitación a principios del otoño, mientras que el segundo escenario puede ser representativo de las situaciones en las que los agricultores intentan implantar cubiertas mediante siembra a mediados del otoño, que es una situación común en la región. Una característica interesante final es la alta correlación entre la fecha de madurez promedio y la temperatura promedio anual, lo que sugiere el potencial para modelizar la fecha de maduración de la semilla en toda la región utilizando la temperatura promedio anual.

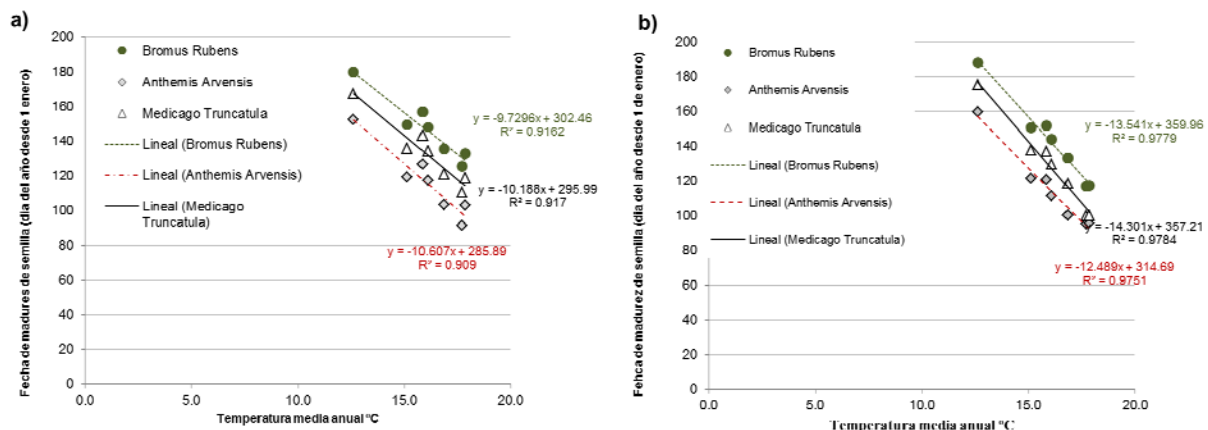


Figura 1. Fecha (día del año) promedio de madurez de la semilla vs. T promedio anual para las tres especies evaluadas en las siete localizaciones, bajo dos supuestos de fecha de germinación: a) fija el 20 de octubre, y b) después de al menos 25 mm de lluvia en dos días, después del 1 de septiembre

La Figura 2 explora los resultados de la fecha de madurez de la semilla para los 18 años simulados en las siete localidades. Una fecha temprana de maduración de la semilla, antes del control de la cubierta para evitar la competencia por el agua del suelo, es clave para la auto-siembra de la cubierta. Como se esperaba, las simulaciones basadas en una fecha de germinación fija mostraron una variabilidad relativamente pequeña (aproximadamente 10 días) en las fechas de madurez para cada localidad (Figs. 2a). Sin embargo, cuando los escenarios simulados incluyen la variabilidad inducida por la fecha de la primera precipitación significativa después del período seco de verano, esta variabilidad en la fecha de madurez aumenta, con diferencias promedio de aproximadamente 50 días entre los ciclos simulados para los distintos años. Un análisis detallado de las fechas promedio de madurez de las semillas indica que *B. rubens* tiende a madurar a principios de la primavera (aproximadamente el 10 de abril) solo en dos de los lugares simulados (Córdoba y Sanlúcar la Mayor), mientras que en la mayoría de los lugares alcanzan la madurez promedio a mediados de la primavera (aproximadamente el 20 de mayo) y en las áreas más frías (Jerez del Marquesado) a fines de la primavera (9 de junio). La especie con el período de crecimiento más corto, *A. arvensis*, tiene una fecha de madurez promedio de principios de primavera para la mayoría de los lugares, e incluso de finales del invierno para los lugares más cálidos (Córdoba, Sanlúcar la Mayor). Para las simulaciones de la localidad más fría (Jerez del Marquesado), *A. arvensis* sigue presentando una fecha de madurez promedio al final de la primavera. La fecha de madurez promedio de *M. truncatula* tiene un ciclo más corto que *B. rubens*, pero no tan corto como *A. arvensis*.

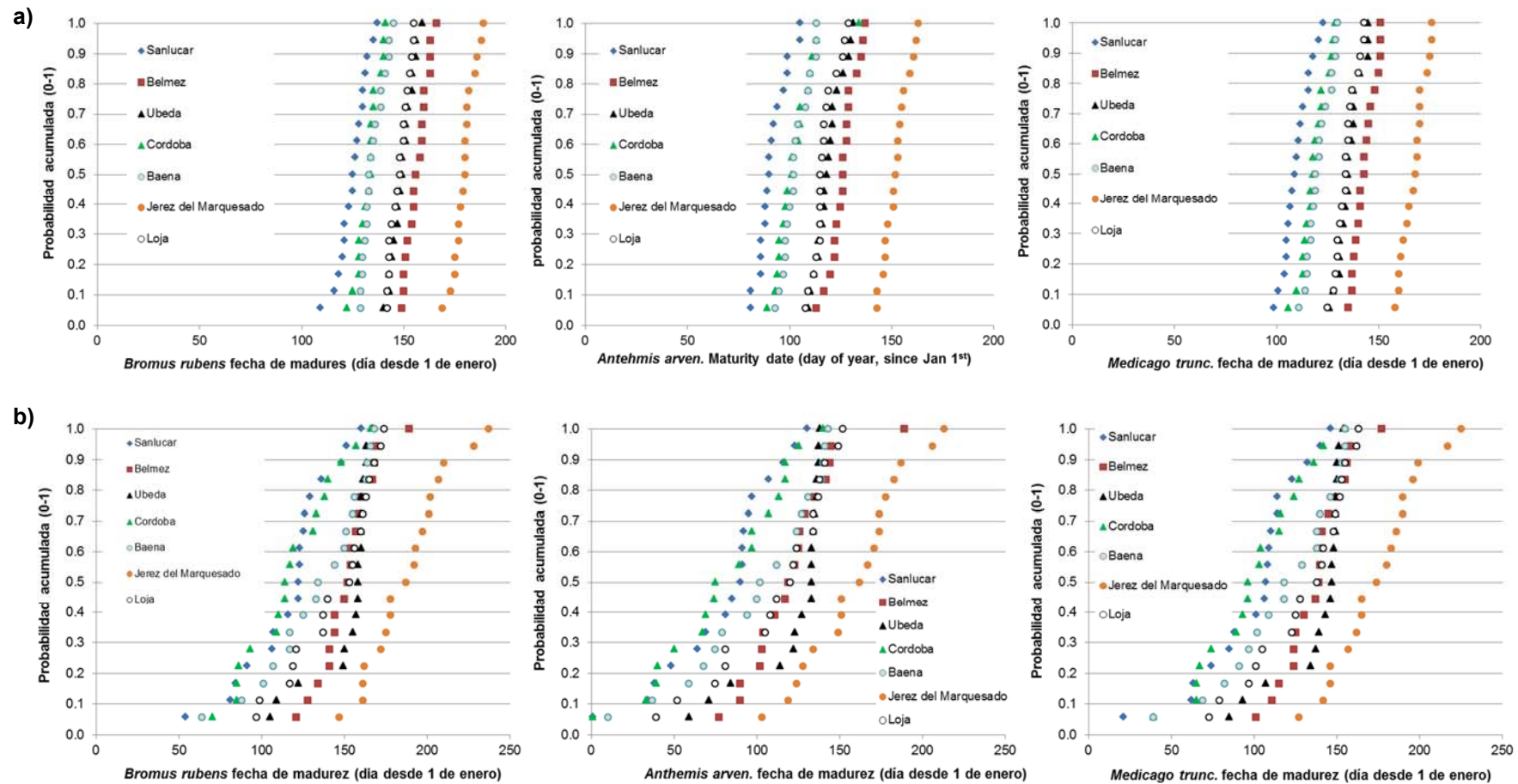
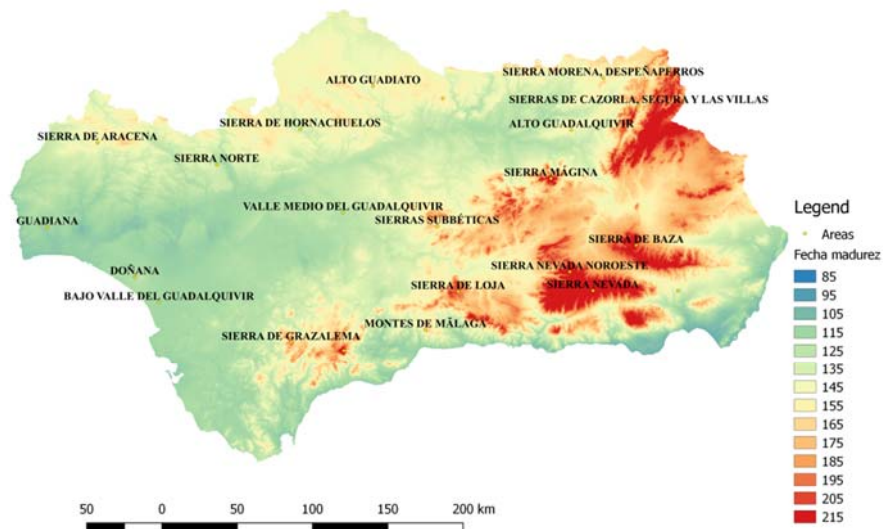


Figura 2. Distribución de probabilidad acumulada de la fecha de madurez de la semilla de *B. rubens*, *A. arvensis* y *M. truncatula* en las siete localidades y dos supuestos diferentes sobre la fecha de germinación para los años agrícolas 2000/01-2017/18: a) fecha de germinación fija, el 20 de octubre; y b) germinación después de al menos 25 mm de lluvia en dos días después del 1 de septiembre.

Los mapas de fechas de madurez de las semillas (como por ejemplo, los de la Figura 3, para *B. rubens* y *A. arvensis*), utilizando los modelos de regresión lineal de la Figura 1b, permiten evaluar las diferencias en las fechas de madurez de estas tres especies en toda la región y evaluar sus posibilidades en las zonas donde las diferentes especies podrían usarse como cubierta vegetal. La Figura 3a muestra como la fecha de madurez promedio de *B. rubens* en Andalucía varía mucho entre las diferentes zonas. En las zonas frías de las sierras (ubicadas principalmente en la parte norte y sureste de la región), la fecha de madurez es alrededor de los días 135-145 (15- 25 de mayo), que es relativamente tarde en la primavera. En las áreas cultivadas más altas de estas sierras y las llanuras internas ubicadas en la parte oriental de la región entre las sierras de Baza y Cazorla, la fecha de madurez fue aún más tardía, días 155-165 (4-14 de junio). En el valle del río Guadalquivir, las fechas de madurez variaron desde las más tempranas, alrededor del día 100 (10 de abril), en su parte inferior (más cálida), aumentando a medida que avanzamos río arriba, días 125-135 (5-15 de mayo) en la zona intermedia hasta días 145-155 (25 de mayo a 4 de junio) en la zona noreste. En las zonas costeras, entre el mar Mediterráneo y las sierras, la influencia marítima se traduce en una fecha de madurez relativamente temprana, días 105-115 (15- 25 de abril). La Figura 3b presenta un mapa similar para *A. arvensis*, con una tendencia general de fecha de madurez más temprana y diferencias relativas similares entre las diferentes áreas de la región. Para *M. truncatula* (figura no presentada) los resultados son similares a los presentados para *A. arvensis*, aunque con un retraso en la fecha de madurez que varía de 7 a 10 días, aproximadamente.

a)



b)

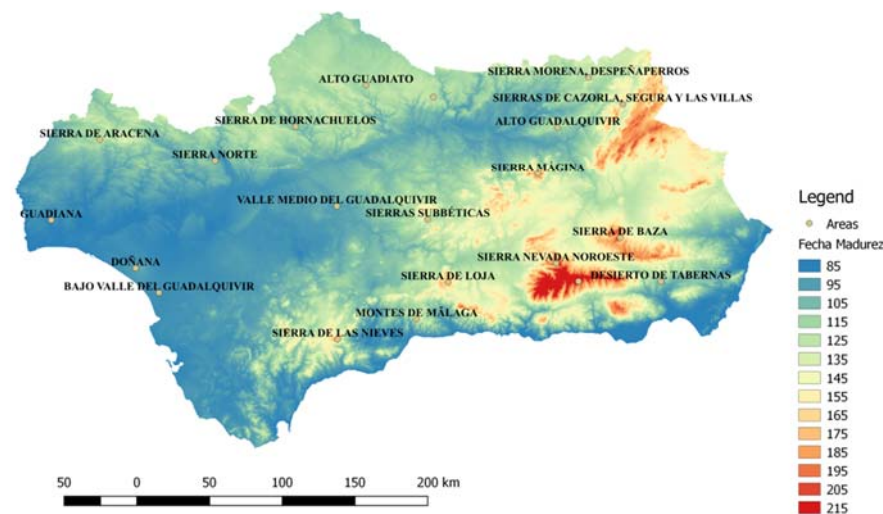


Figura 3. Mapa de fechas de madurez de la semilla promedio (día del año, desde 1 de enero) de *B. rubens* (a) y *A. arvensis* (b), usando el modelo de regresión de la Figura 1b y la temperatura promedio anual para el período 1971-2000.

Nuestros resultados sugieren que *A. arvensis* y *M. truncatula* pueden completar su ciclo de crecimiento, de acuerdo con la fecha de eliminación recomendada de los cultivos de cobertura en olivar de principios de abril (e.g., Alcántara et al., 2017), en la mayoría de las zonas de Andalucía, especialmente en el valle del Guadalquivir, en la parte baja y media. Fuera de estas áreas, en las sierras o en la parte más oriental de la región, para asegurar la auto-siembra de estas especies el manejo debe adaptarse a esas fechas más tardías de madurez de la semilla. Por ejemplo, mediante una siega parcial que deje una franja central de cubierta vegetal viva para producir semilla (e.g., Gómez et al., 2018b) o mediante una siega variable en momentos críticos del invierno (e.g. Centinari et al., 2013). Esta necesidad de adaptar el manejo parece mucho más evidente para *B. rubens*. Esta gramínea completa su ciclo a principios de abril (fecha crítica para evitar la competencia por el agua) solo en la parte más occidental del valle del Guadalquivir, mientras que se retrasa hasta finales de abril o principios de mayo a medida que avanzamos hacia una mayor altitud y parte oriental de la región. *B. rubens* tiene un ciclo de crecimiento mucho más corto que otras gramíneas (por ejemplo, *Lolium rigidum*, *L. multiflorum* o incluso *Brachypodium distachyon*) recomendadas como cubiertas en olivar. Las gramíneas son cubiertas especialmente valiosas para el control de la erosión debido a su facilidad para proporcionar rápidamente una cobertura completa del suelo y la persistencia de sus residuos, algo que en el contexto de cubierta temporal es fundamental para proporcionar protección del suelo durante las tormentas esporádicas pero intensas de la estación seca. Nuestros resultados muestran que para gran parte de las áreas de cultivo del olivar en Andalucía, el manejo de la cubierta de gramíneas actualmente disponibles debe incluir una siega parcial de la misma antes de su fecha de madurez, para combinar el uso de la cubierta con minimizar la competencia con el olivo por el agua del suelo. Esto ya se hace con éxito en distintos olivares de la región, combinando la siega mecánica o química (e.g., Alcantara et al., 2017; Gómez et al., 2018b). Esta siega será un elemento clave, hasta que aparezcan nuevas variedades con ciclos más cortos y mejor adaptados. Las fechas de madurez que se pueden predecir utilizando los modelos fenológicos presentados en este estudio pueden ser útiles para orientar a los agricultores y al personal técnico en la fase inicial del uso de cubiertas vegetales, particularmente en áreas donde no hay ejemplos previos de su manejo. Una buena comprensión de la fenología de estas especies también puede ser útil cuando se trata de cubiertas de mezcla de especies, ya que puede permitir una evaluación más precisa de sus diferentes períodos de floración, en caso de que busquemos mezclas para mejorar la biodiversidad y los valores del paisaje, (e.g. Miglecz et al., 2015; Gómez et al., 2018a).

4. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un enfoque novedoso para evaluar el potencial de tres especies de plantas anuales autóctonas, *Bromus rubens*, *Anthemis arvensis* y *Medicago truncatula*, para su uso como cubierta vegetal temporal en olivar en Andalucía. El modelo fenológico desarrollado permitió el análisis de las fechas de madurez de las semillas en toda Andalucía, así como la variabilidad de estas fechas de madurez en función de las condiciones variables de lluvia y temperatura en los diferentes lugares. El análisis mostró que el manejo de una cubierta temporal, basado en una fecha temprana de siega (a principios de abril) para evitar la competencia con los olivos por el agua del suelo, debe ser regionalizado y adaptado a las condiciones específicas de cada lugar. Mientras que en la parte occidental del valle del Guadalquivir, las tres especies evaluadas pueden producir semillas viables a principios de abril, especialmente *A. arvensis* y *M. truncatula*, en el resto de la región el manejo de las cubiertas debe adaptarse a una fecha de madurez más tardía combinado con minimizar el riesgo de competencia por el agua. Esto se podría hacer con sistemas de manejo que eliminen la cubierta solo parcialmente a principios de primavera. Nuestro análisis sugiere que se necesitan nuevas especies para cubierta vegetal con ciclos más cortos, particularmente gramíneas. Los modelos fenológicos desarrollados en este análisis podrían ser directamente aplicables a áreas similares en el Mediterráneo o recalibrarse para diferentes condiciones o especies, con experimentos relativamente simples.

5. AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo fue financiado por los proyectos AGL2012-40128-C03-01 y P12-AGR-931, y fondos FEDER, cuyo apoyo se reconoce y agradece.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara, C., Soriano, M.A., Saavedra, M., Gómez, J.A. 2017. Chapter 10: Manejo del suelo. In: El cultivo del olivo. 7ª Edition. Mundiprensa. Madrid.
- Birch, C.P.D. 1999. A New Generalized Logistic Sigmoid Growth Equation Compared with the Richards Growth Equation. *Annals of Botany* 83: 713-723.
- Blanco-Canqui, H., Shaver, T.M., Lindquist, J.L., Shapiro, C.A., Elmore, R.W., Francis, C.A., Hergert, G.W. 2015. Cover Crops and Ecosystem Services: Insights from Studies in Temperate Soils. *Agronomy Journal* 107: 2449-2474.
- Centinari, M., Filippetti, I., Bauerle, T., Allegro, G., Valentini, G., Poni, S. 2013. Cover Crop Water Use in Relation to Vineyard Floor Management Practices. *American Journal of Enology and Viticulture* 64: 522-526.
- Climate Data. 2018. <https://es.climate-data.org/europe/espana/andalucia/baena-56895/>
- Gómez, J.A., Infante-Amate, J., González de Molina, M., Vanwalleghe, T., Taguas, E.V., Lorite, I. 2014a. Review: Olive Cultivation, its Impact on Soil Erosion and its Progression into Yield Impacts in Southern Spain in the Past as a Key to a Future of Increasing Climate Uncertainty. *Agriculture* 4: 170-200.
- Gómez, J.A., Rodríguez-Carretero, M.T., Lorite, I., Fereres, E. 2014b. Modeling to Evaluate and Manage Climate Change Effects on Water Use in Mediterranean Olive Orchards with Respect to Cover Crops and Tillage Management. *Advances in Agricultural Systems Modeling* 5. p. 237-266. Practical Applications of Agricultural System Models to Optimize the Use of Limited Water. Lajpat R. Ahuja, Liwang Ma and Robert J. Lascano (ed.). Madison. WI.
- Gómez, J.A. 2017. Sustainability using cover crops in Mediterranean tree crops, olives and vines – Challenges and current knowledge. *Hungarian Geographical Bulletin* 66: 13-28.
- Gómez, J.A., Campos, M., Guzmán, G., Castillo-Llanque, F., Vanwalleghe, T., Lora, A., Giráldez, J.V et al., 2018a. Soil erosion control, plant diversity, and arthropod communities under heterogeneous cover crops in an olive orchard. *Environmental Science and Pollution Research* 25:977-989.
- Gómez, J.A., Lora, A., Pérez, R., Sánchez, F., Soriano, M.A. 2018b. Comportamiento de *Bromus rubens* como cubierta vegetal en varios olivares. *Agricultura* 1023: 16-20.
- Hess, M., Barralis, G., Bleiholder, H., Buhr, L., Eggers, T., Hack, H., Stauss, R. 1997. Use of the extended BBCH scale general for the descriptions of the growth stages of mono- and dicotyledonous weed species. *Weed Research* 37: 433-441.
- IFAPA, 2018. Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica, Estaciones Agroclimáticas. <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController>
- MAPAMA 2017. Encuesta sobre superficie y rendimiento de los cultivos. Análisis de las técnicas de mantenimiento de los suelos y de los métodos de siembra en España. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA).
- Meier, U. (Ed.). 2001. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. BBCH Monograph, 2nd Edition. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Bonn.
- Miglecz, T., Valkó, O., Török, P., Deák, B., Kelemen, A., Donkó, A., Drexler, D., Tóthmérész, B. 2015. Establishment of three cover crop mixtures in vineyards. *Scientia Horticulturae* 197: 117-123.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models. *Journal of Hydrology* 10, 280-292.
- REDIAM, 2018. Red de Información Ambiental de Andalucía. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.04dc44281e5d53cf8ca78ca731525ea0/?vgnextoid=4d1a3a5b2bccd210VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=8aa0fa937370f210VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextfmt=rediam&lr=lang_es
- Rodrigues, M., Dimande, P., Pereira, E., Ferreira, I., Freitas, S., Correia, C., Moutinho Pereira, J., Arrobas, M. 2015. Early-maturing annual legumes: an option for cover cropping in rainfed olive orchards. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 103: 153-166.
- Rodríguez-Entrena, M., Arriaza, M., Gómez-Limón, J.A. 2014. Determining Economic and Social Factors in the Adoption of Cover Crops Under Mower Control in Olive Groves. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 38: 69- 91.
- Ruiz de Castroviejo, J. 1969. Explotación de olivares en asociación con trébol subterráneo. *Agricultura* 443: 135-139.
- Soriano, M.A., Cabezas, J.M., Ramos, A., Lora, A., Gómez, J.A. 2016. Characterization of cover crops for use in olive groves and vineyards in certified systems under Mediterranean conditions. Proceeding of 10th International Symposium AgroEnviron. West Lafayette, IN. EEUU. Available at: <https://docs.lib.purdue.edu/agroenviron/2016/>